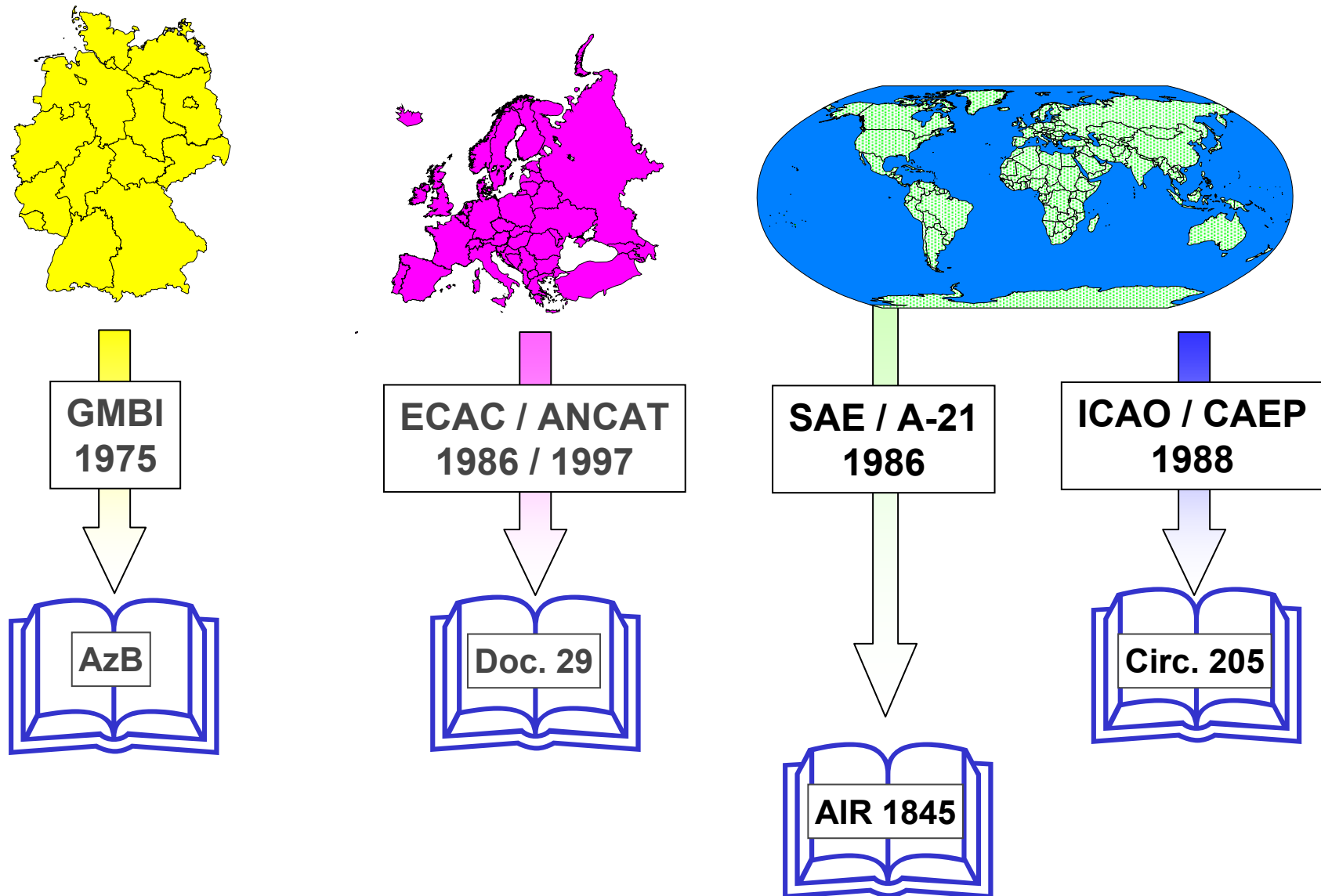


# **Die AzB von 2008 im Vergleich mit ECAC Doc.29 3<sup>rd</sup> Edition**

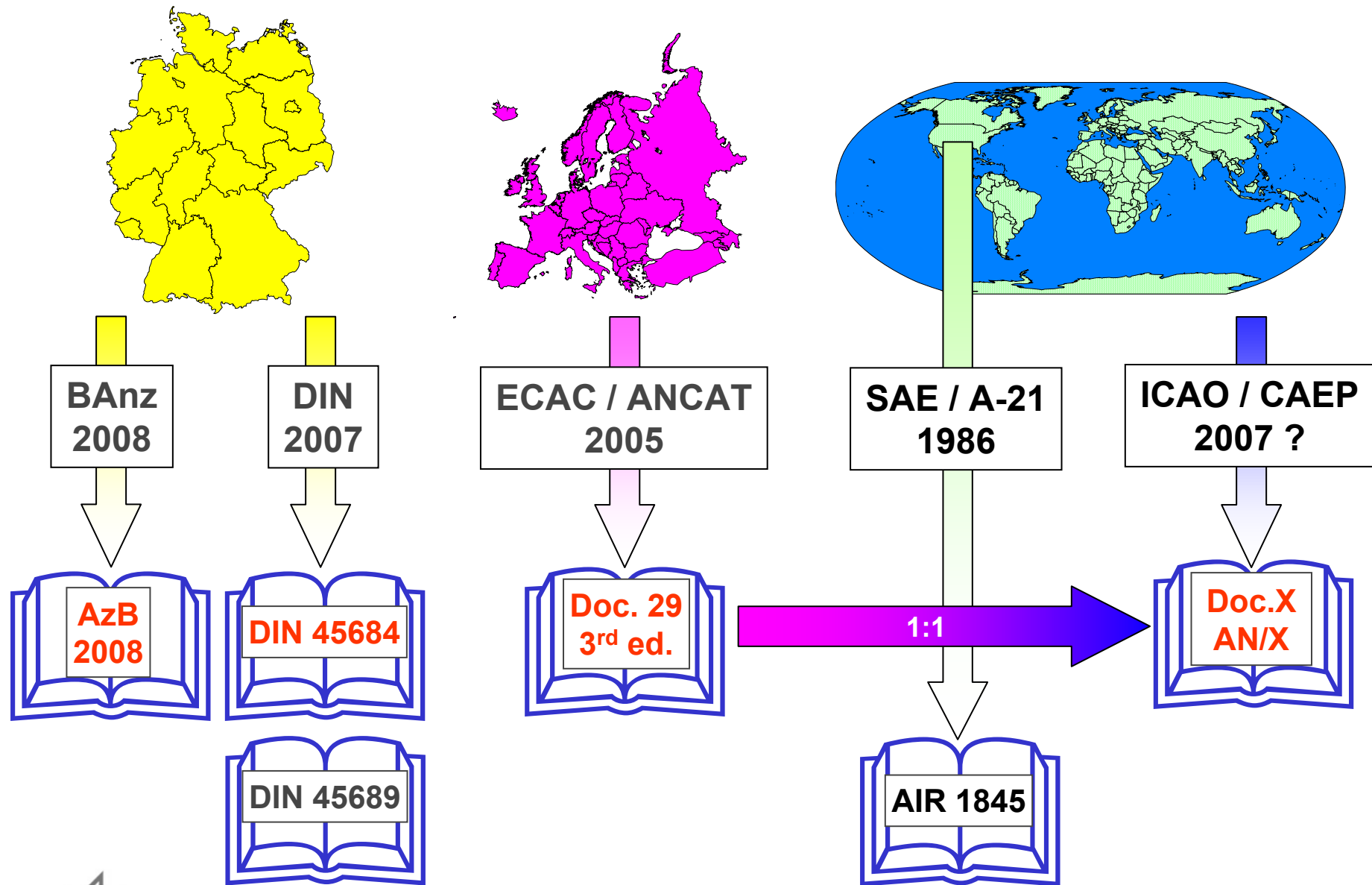
**Dr. Ullrich Isermann**

**DLR Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik, Göttingen**

# Nationale und internationale Standards (bis etwa 2004)



# Nationale und internationale Standards (aktuell)



# Inhalt von Doc.29 Vol. 1 („Applications Guide“)

## Teil I: Problemstellung

- Wirkung, Beurteilung und Messung/Berechnung von Lärm
- Flughafen, Flugbetrieb und Lärm
- Anwendungsbereiche von Berechnungsverfahren

## Teil II: Methodologie der Modellierung

- Komponenten eines Berechnungsverfahrens
- Eingabedaten
- Hinweise zur praktischen Anwendung

# Inhalt von Doc.29 Vol. 2 („Technical Guide“)

- **Die Generierung von Flugbahnen**
- **Ermittlung des Beitrags des Einzelflugs zur Immission**
- **Berechnung der kumulierten Immission**
- **Techniken zur Konturberechnung**
- **Post-Processing und Datenexport**

## Anhänge:

- **Durchführung von Flugleistungsrechnungen**
- **Modellierung der seitliche Flugbahnstreuung**
- **Umrechnung von NPD-Daten**
- **Der Segmentierungsalgorithmus**
- **Die internationale ANP-Datenbasis**

## Doc.29 Vol.2 vs. AzB- 2008

	<b>Doc.29 3<sup>rd</sup> Edition</b>	<b>AzB-2008</b>
<b>Art des Verfahrens</b>	Flugbahnsegmentierung mit speziellen Erweiterungen	Teilstückverfahren (immissionsortbezogen)
<b>Emissionswerte</b>	NPD-Daten mit „spectral classes“	explizite spektrale Darstellung
<b>Richtcharakteristik</b>	semiempirisches Dipol-Modell und Installationseffekte	spektrale, 2-dimensionale Richtcharakteristiken
<b>Flugzeuggruppen</b>	Einzeltypen und Auslastung	wenige Flugzeuggruppen
<b>Flugleistungsdaten</b>	prozedurale, generierbare Profile	vordefinierte Standardprofile
<b>Korridormodellierung</b>	7 Subtracks (mit / ohne Vererbung)	15 Subtracks mit Vererbung
<b>Quell-/Empfängerhöhe</b>	-	Raumwinkelmaß
<b>Topografie</b>	nur Höheneffekt	
<b>Umkehrschub</b>	AzB von Doc.29 adaptiert	
<b>Bodenlärm</b>	-	Rollvorgänge und APU
<b>Anwendungsbereich</b>	zivile Flughäfen	umfassend



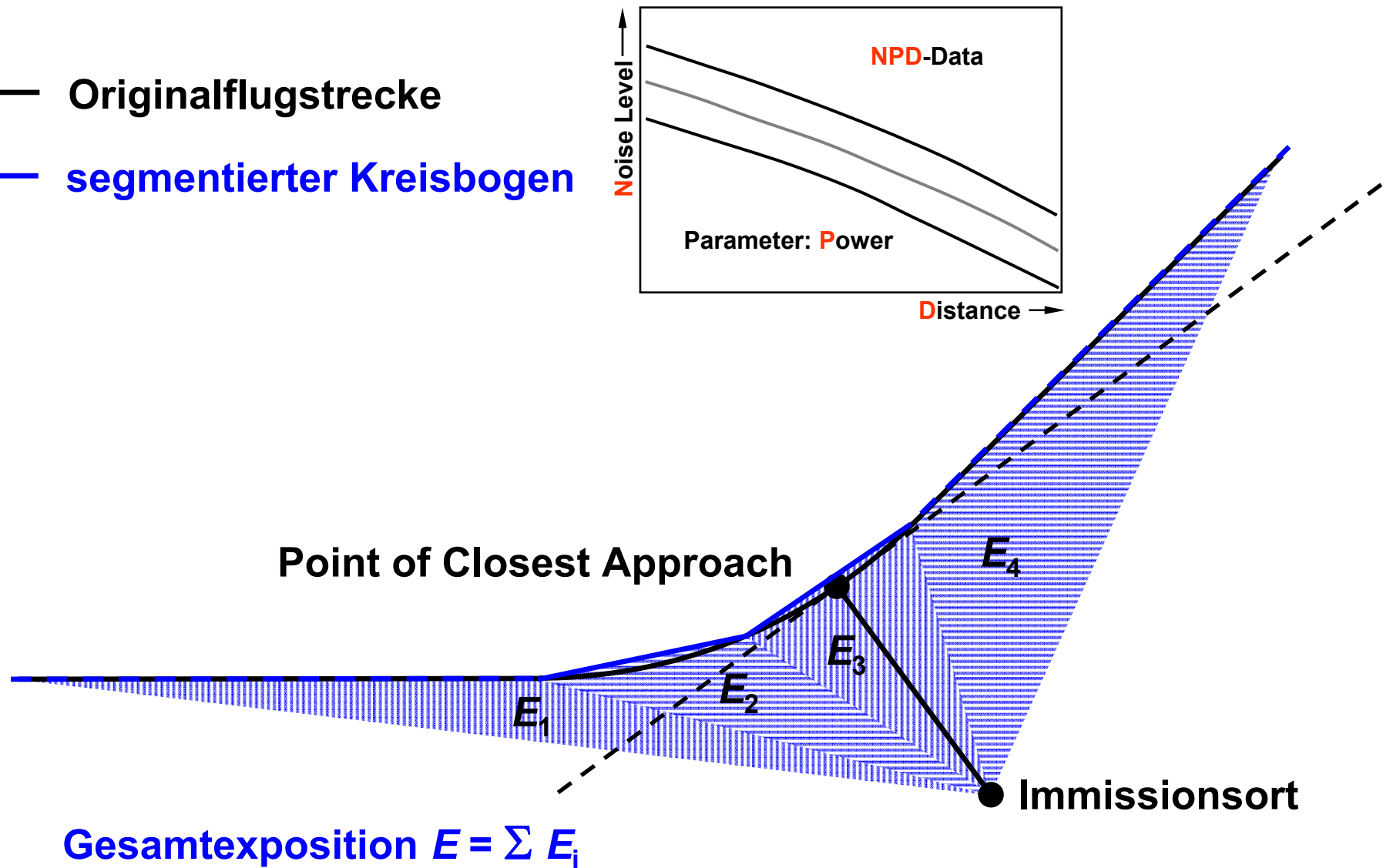
## Segmentierung

**AzB:** Vorsegmentierung mit anschließendem  
Teilstückverfahren  
(3-stufig und immissionsortbezogen)

**Doc.29:** klassische 2-stufige Flugbahnsegmentierung  
mit speziellen Erweiterungen

# Prinzip von Segmentierungsverfahren

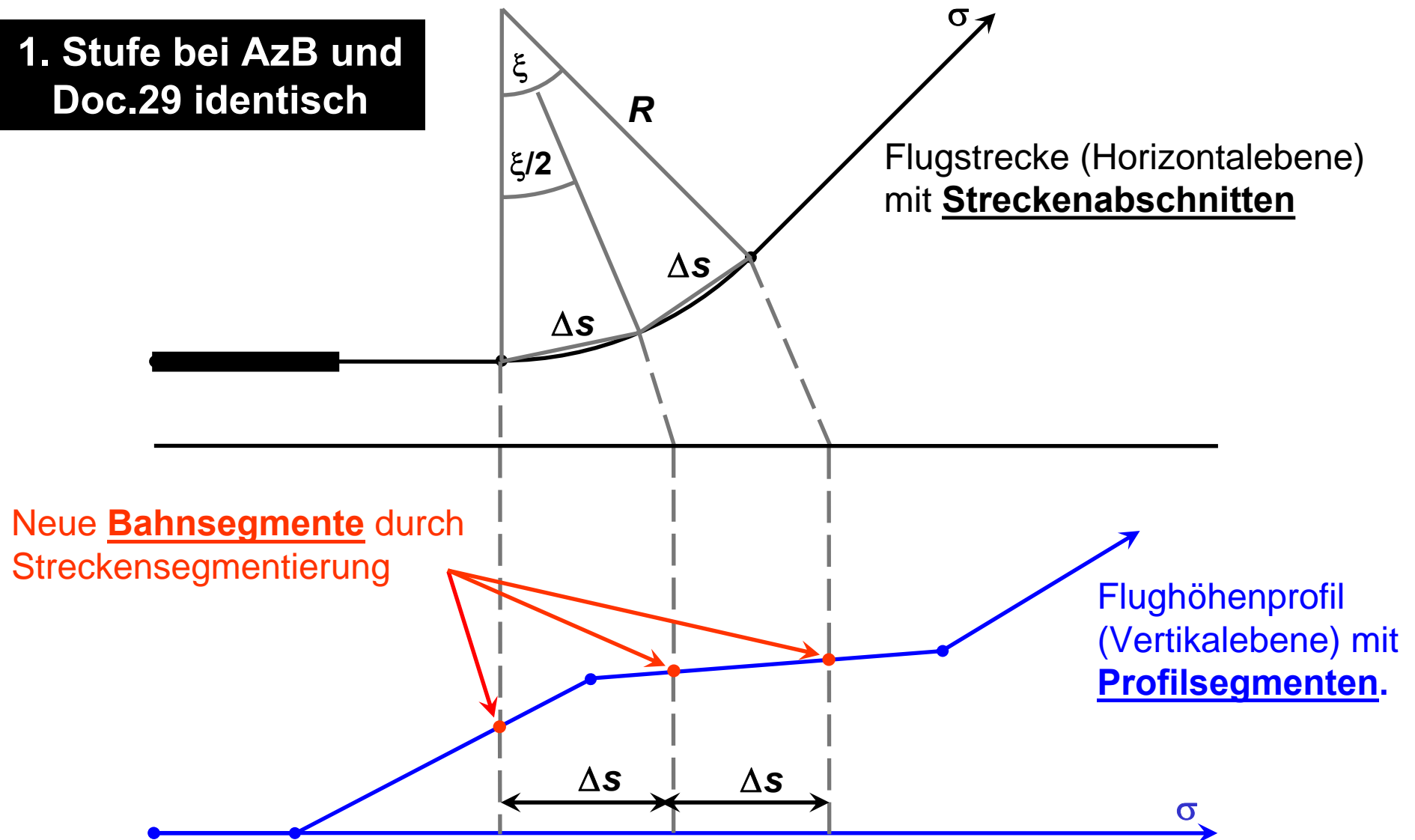
- Originalflugstrecke
- segmentierter Kreisbogen





# Flugbahnsegmentierung: 1. Stufe

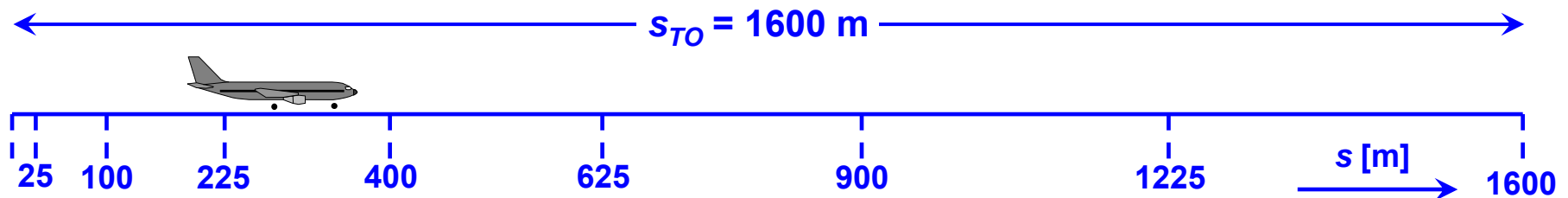
1. Stufe bei AzB und  
Doc.29 identisch



## Flugbahnsegmentierung: 2. Stufe (Doc.29)

### T/O-Roll-Segment :

- Segmentierung in festen Zeitschritten (konstante Beschleunigung)
- Bessere Vergleichbarkeit mit Simulation



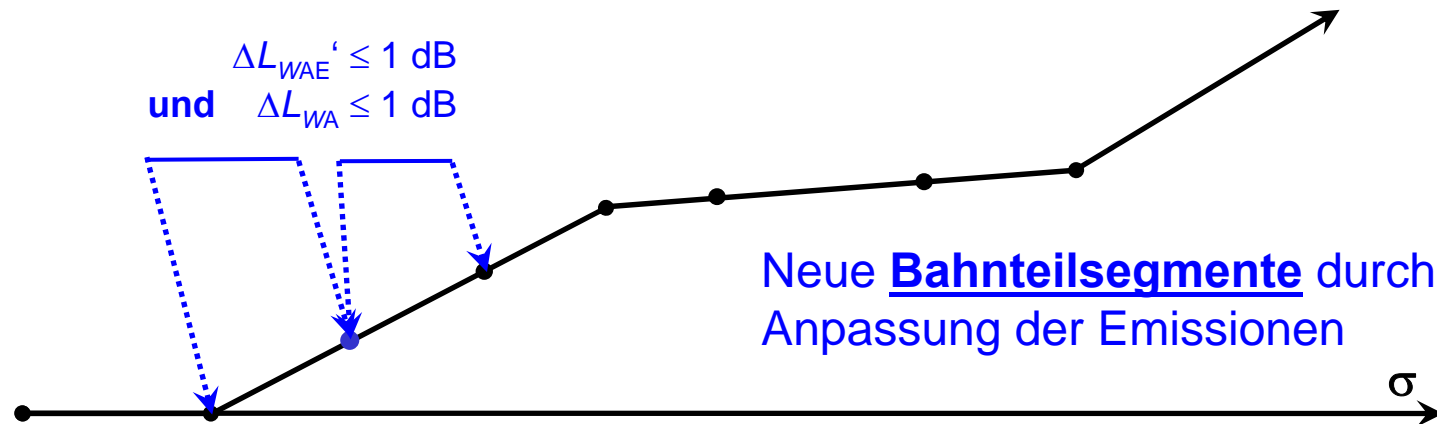
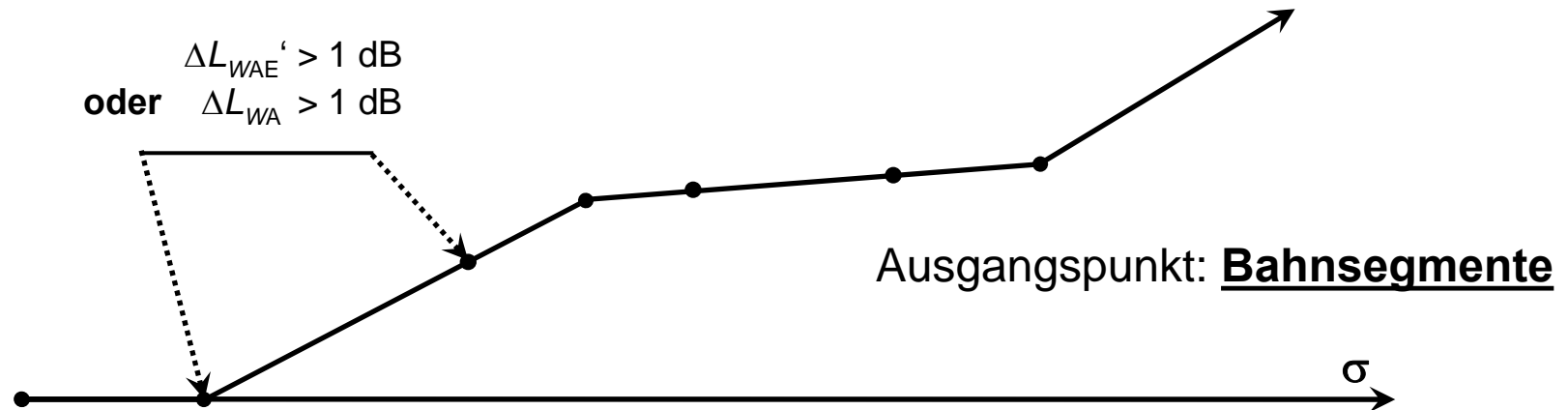
### Airborne Segments:

- eng benachbarte Punkte werden entfernt
- lange Segmente mit großen Geschwindigkeitsänderungen werden unterteilt

### Transitions-Segmente im Bereich von Kurven

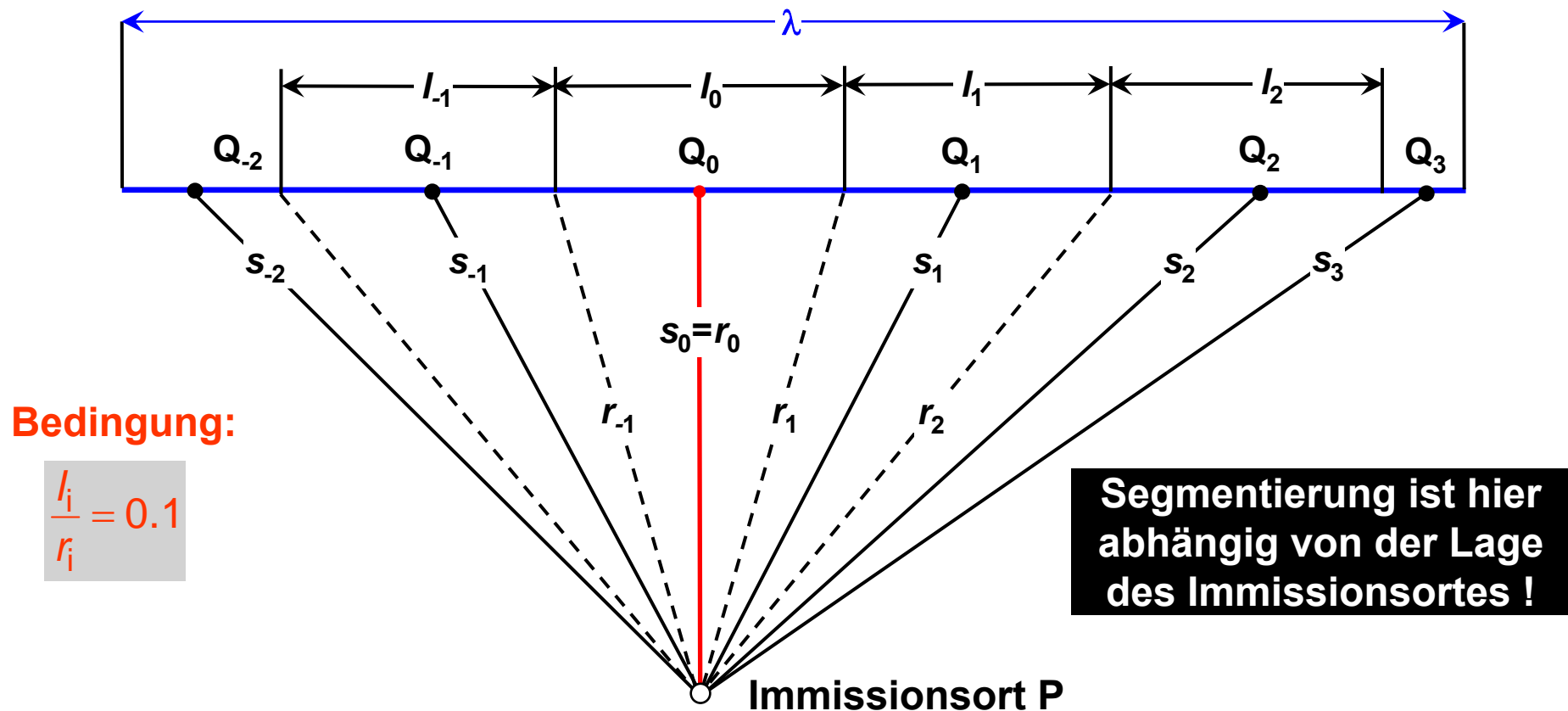
- Keine Unstetigkeiten bei Berücksichtigung des Querneigungswinkels

## Flugbahnsegmentierung: 2. Stufe (AzB)



## Flugbahnsegmentierung: 3. Stufe (AzB - Teilstückverfahren)

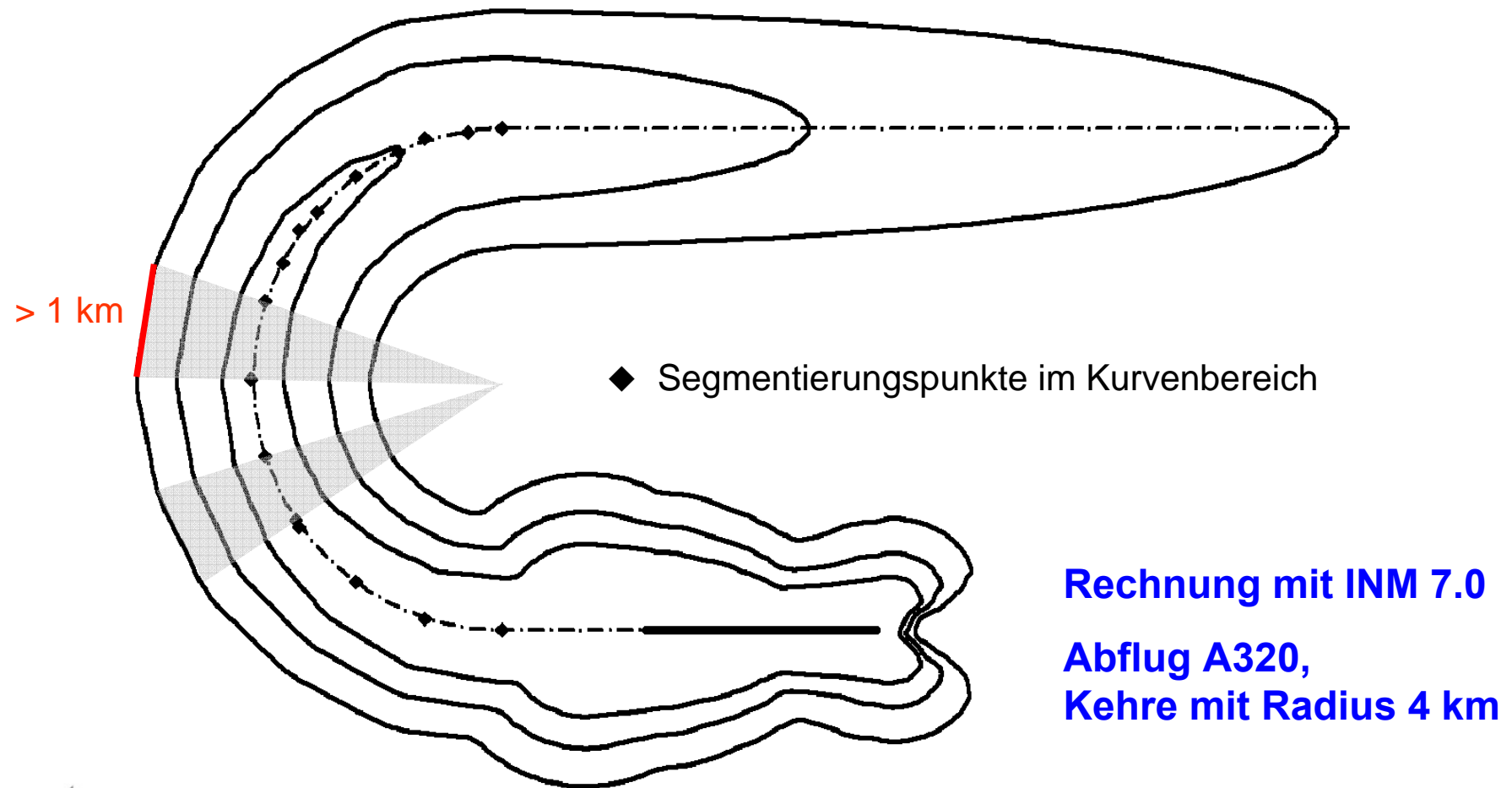
- Bahnteilsegment der Länge  $\lambda$  wird unterteilt in Teilstücke der Länge  $l_i$
- Unterteilung beginnt am Punkt  $Q_0$  (nächster Punkt zum Immissionsort)
- Teilstücke werden repräsentiert durch Punktschallquellen in  $Q_i$



# Beispiel: Vorgaben für Streckensegmentierung

**Doc 29** : Segmentierungswinkel  $\xi \leq 30^\circ$

**AzB** : Segmentierungswinkel  $\xi \leq 15^\circ$  und Sehnenlänge  $\leq 100$  m



### Modellierung der Richtwirkung

**AzB:** explizite spektrale 2D-Richtwirkung  
(3-Tupel von Richtwirkungsfaktoren)

**Doc.29:** - semi-empirisches 2D-Dipolmodell  
- 3D-Richtwirkung durch Installationseffekte



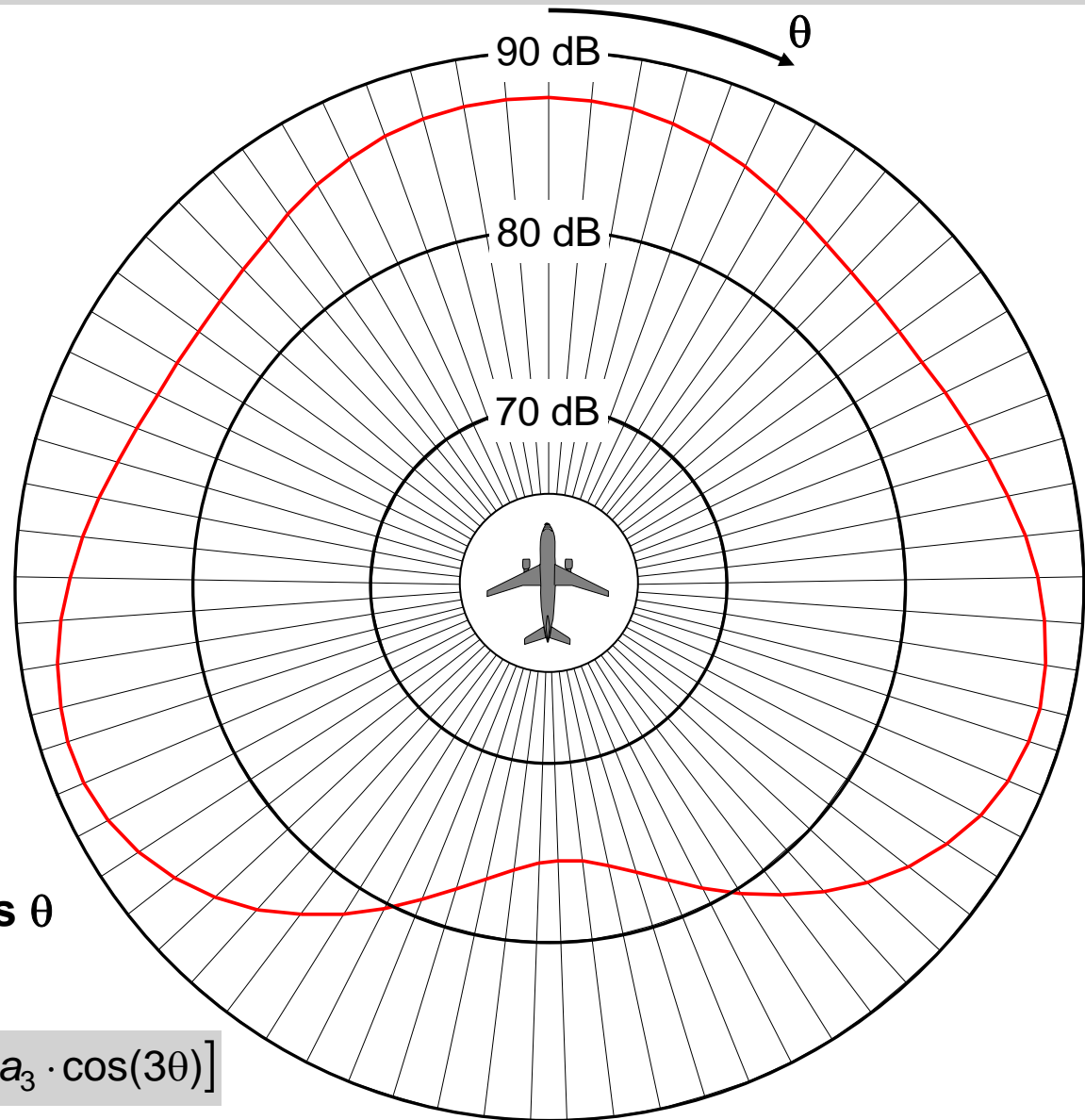
# Richtwirkung nach AzB-2008

Richtdiagramm  $L_{pA}(\theta)$   
für die Klasse S5.2 Start

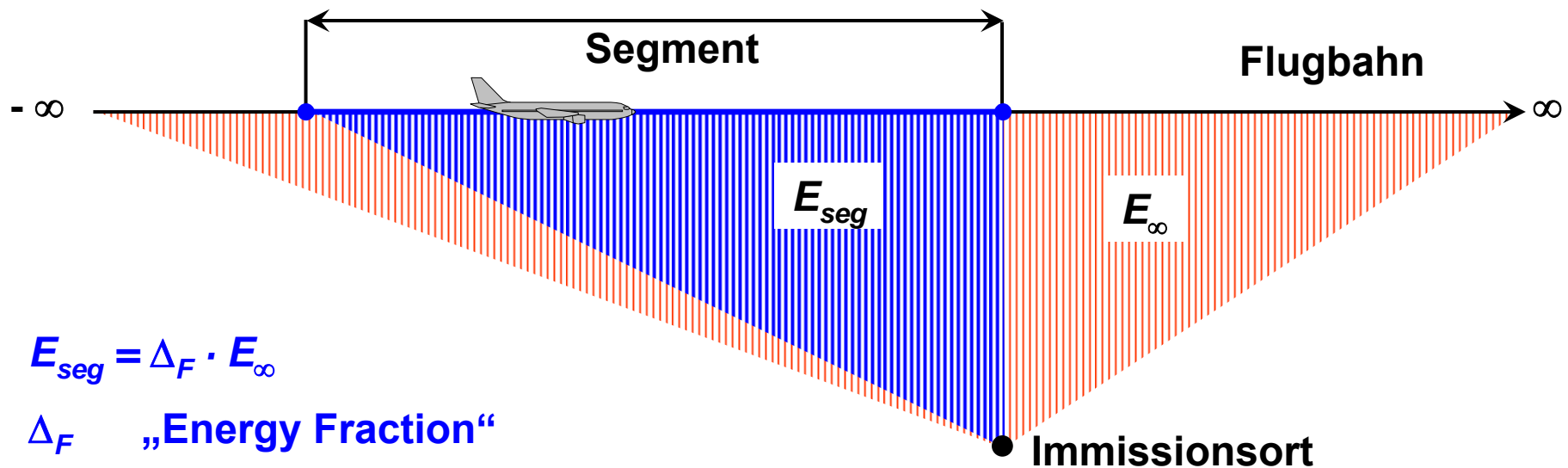
Abstand: 300 m

Darstellung der spektralen  
Richtwirkung durch Reihe  
im Cosinus des Abstrahlwinkels  $\theta$

$$D_{l,n}^*(\theta) = 3 \cdot [a_1 \cdot \cos(\theta) + a_2 \cdot \cos(2\theta) + a_3 \cdot \cos(3\theta)]$$



# Richtwirkung nach Doc.29 3<sup>rd</sup> Edition



$$E_{seg} = \Delta_F \cdot E_{\infty}$$

$\Delta_F$  „Energy Fraction“

$E_{seg}$  Expositionsbeitrag vom Segment

$E_{\infty}$  Expositionsbeitrag für unendlich lange Strecke

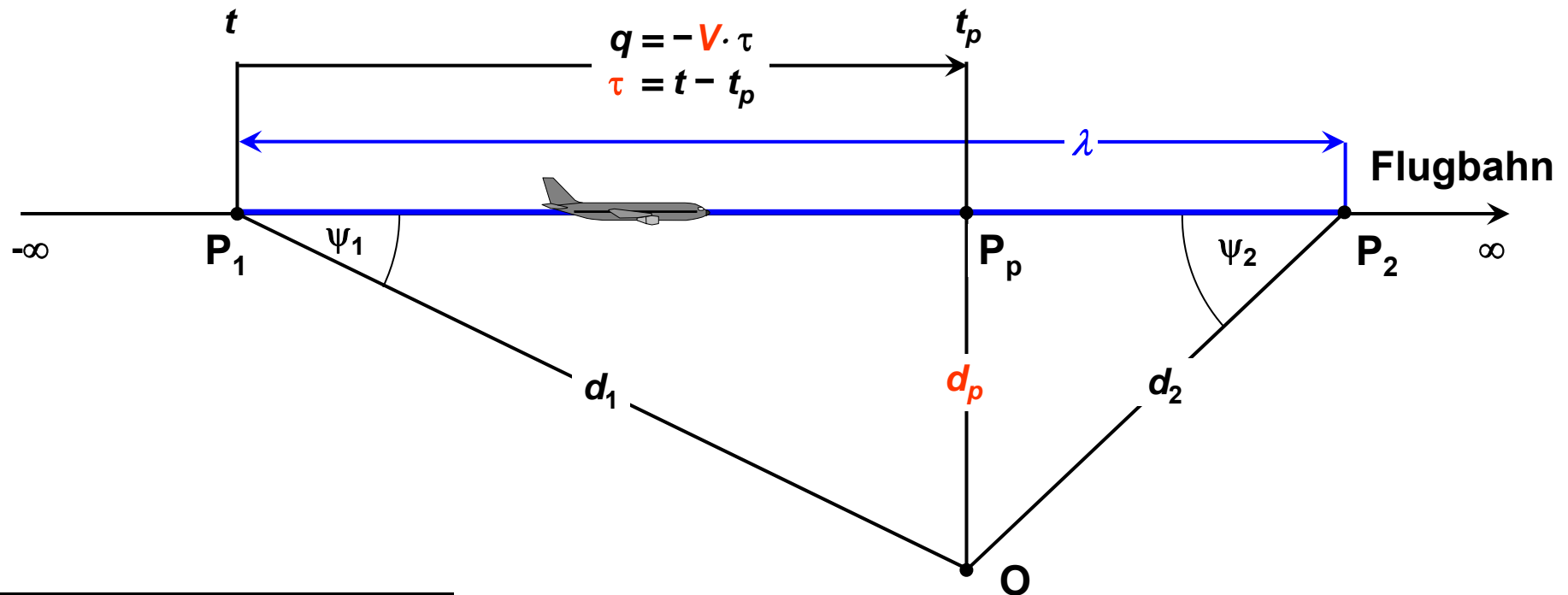
**Ansatz: „4th-Power-90°-Dipole-Model“**

$$p^2 \sim \sin^2\theta/d^2 \sim d^{-4}$$





# Berechnung der „Energy-Fraction“ $\Delta_F$



## Beitrag Segment $\overline{P_1 P_2}$

$$\Delta_F = 10 \cdot \lg \left[ \frac{1}{\pi} \left( \frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2^2} + \arctan \alpha_2 - \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1^2} - \arctan \alpha_1 \right) \right]$$

mit

$$\alpha_i = \frac{V \cdot \tau_i}{d_p}$$

(analytische Lösung aus Dipolmodell)

$$\psi_i = \tan^{-1} \alpha_i$$



# Das Prinzip der „Scaled-Distance“

## Problem mit der Richtcharakteristik:

- Die Energy-Fraction wird aus dem analytischen **Dipol-Modell** berechnet.
- Die **NPD**-Daten stammen aus Messungen (i.d.R. ICAO-Lärmzulassung).

⇒ Für beide unterscheiden sich die Differenzen  $\Delta L = L_{E,\infty}(V) - L_{\max}$  !

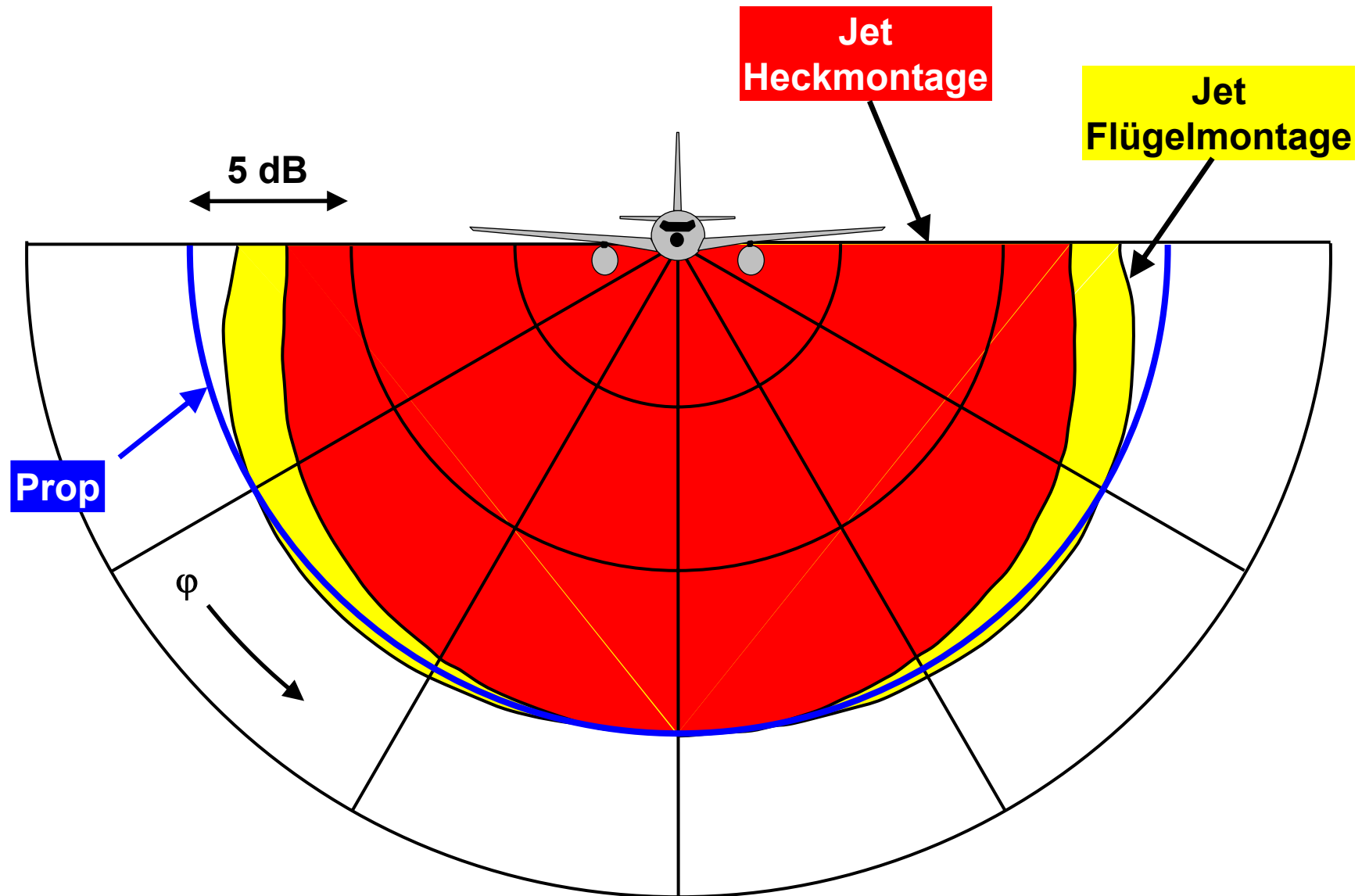
## Lösung:

- Es wird eine „**Scaled Distance**“  $d_\lambda$  bestimmt, für die  $\Delta L_{\text{Dipol}} = \Delta L_{\text{NPD}}$  wird.
- Die Energy-Fraction wird für  $d_\lambda$  anstelle der Slant-Distance  $d_p$  berechnet, d.h.:

$$\alpha = \frac{V \cdot \tau}{d_p} \Rightarrow \alpha = \frac{V \cdot \tau}{d_\lambda}$$

**Die reale Richtcharakteristik wird über eine geänderte Entfernung modelliert  
⇒ Übergang vom analytischen zum semi-empirischen Modell !**

# Installationseffekte (laterale Richtcharakteristik)



### Zusatzdämpfung

**AzB:**

- Bodendämpfungsmaß
- Raumwinkelmaß

⇒ Berücksichtigung Empfängerhöhe

**Doc.29:**

- Bodendämpfung
- Installationseffekte

⇒ Empfängerhöhe wird Null gesetzt

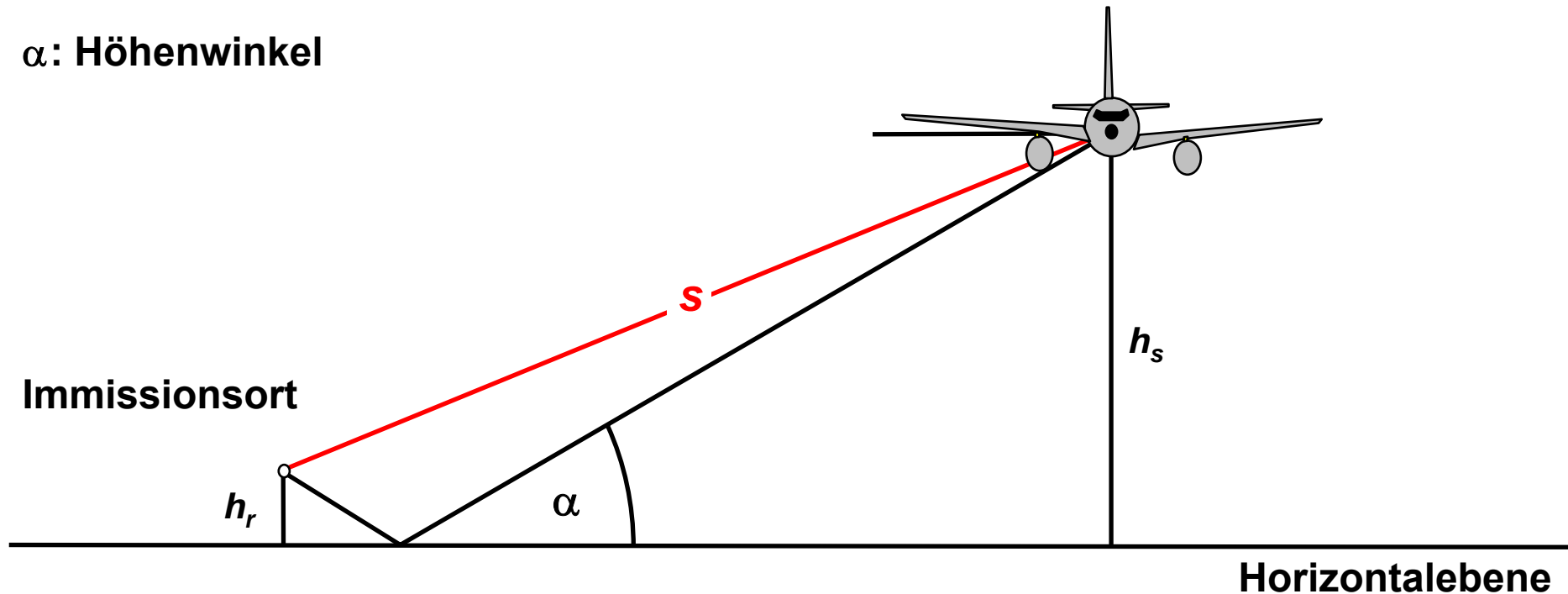


# Bodendämpfungsmaß nach AzB

Bodendämpfungsmaß:  $D_{Z,n} = f(\alpha) \cdot g(s)$  (spektral !)

Raumwinkelmaß:  $D_{\Omega} = f(s, h_s, h_r)$

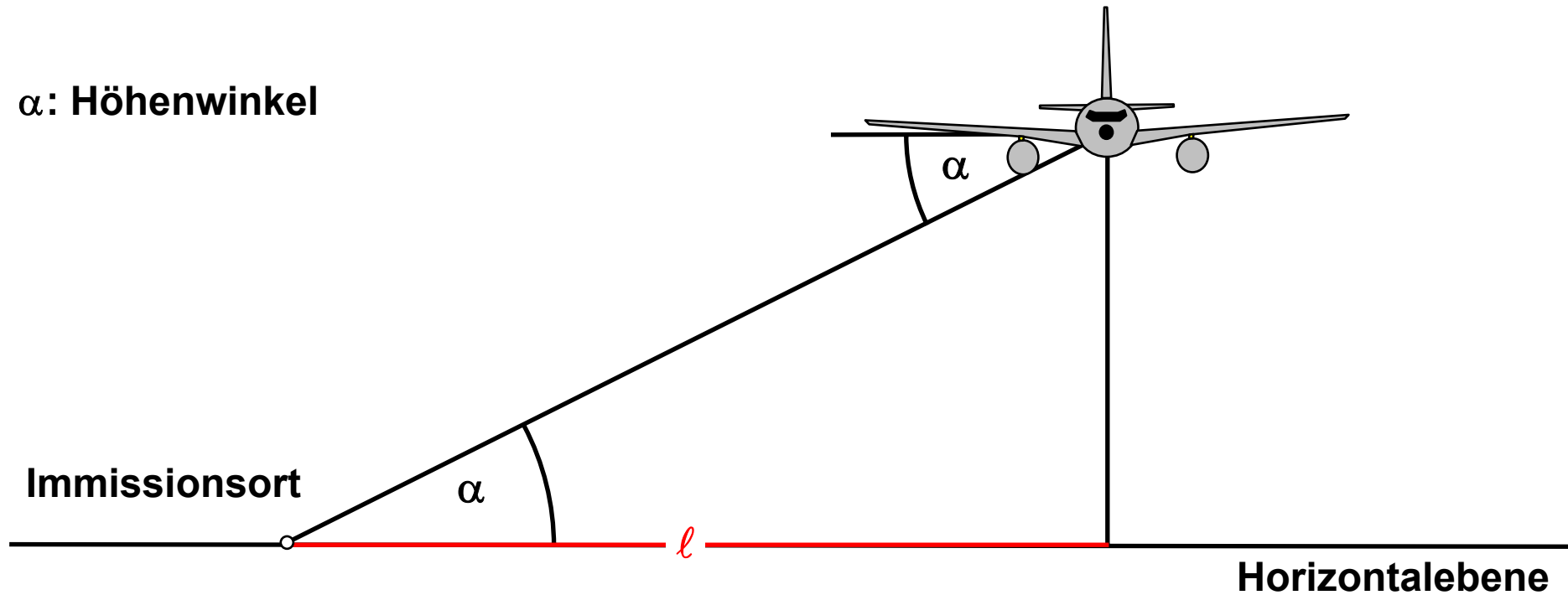
$\alpha$ : Höhenwinkel



## Bodendämpfung nach Doc.29 2<sup>nd</sup>

Bodendämpfung:  $\Lambda = f(\alpha) \cdot g(\ell) \Rightarrow$  (Ausbreitungseffekt)

$\alpha$ : Höhenwinkel



# Bodendämpfung & Installationseffekte nach Doc.29 3<sup>rd</sup>

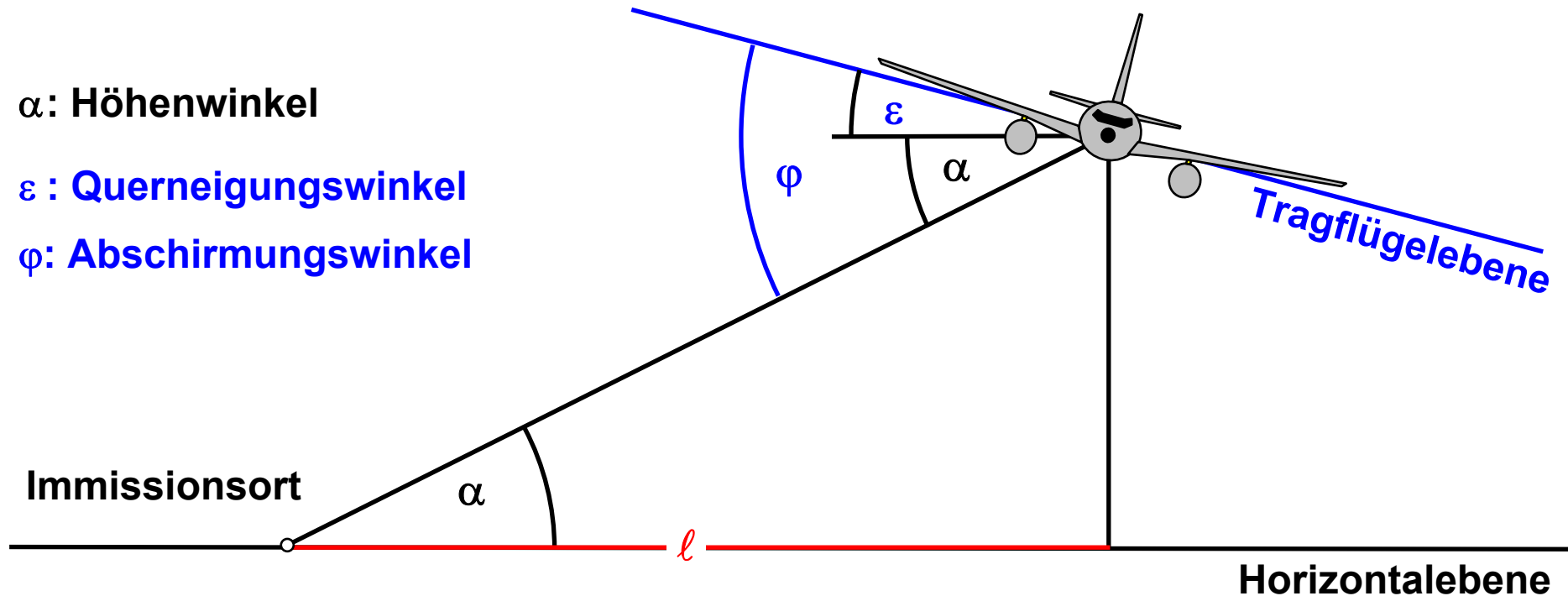
**Bodendämpfung:**  $\Lambda = f(\alpha) \cdot g(\ell) \Rightarrow$  (Ausbreitungseffekt)

**Installationseffekte:**  $\Delta_{\text{Inst}} = \Delta_{\text{Inst}}(\varphi) \Rightarrow$  (Eigenschaft der Quelle)

$\alpha$ : Höhenwinkel

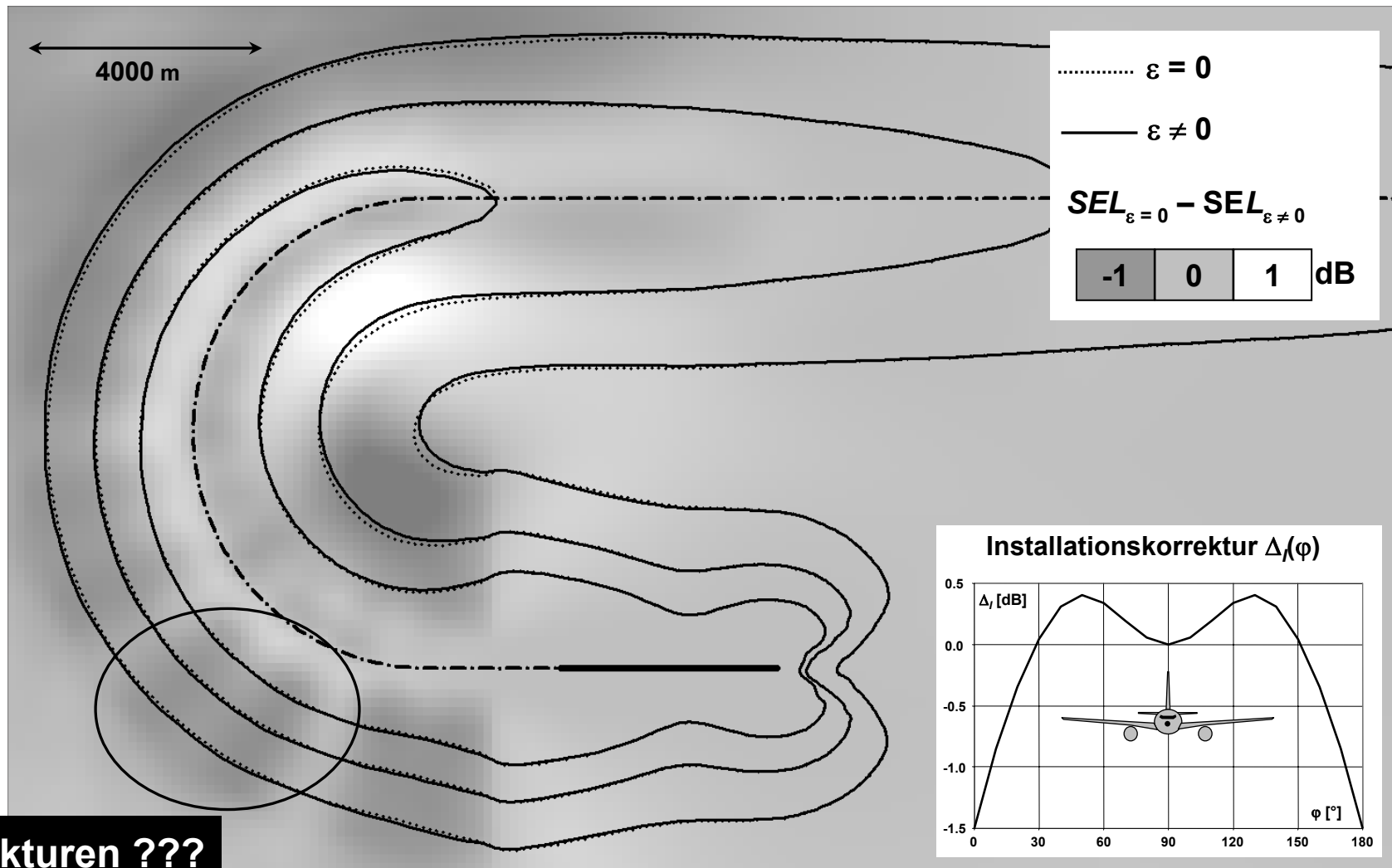
$\varepsilon$ : Querneigungswinkel

$\varphi$ : Abschirmungswinkel



# Einfluss des Lastvielfachen auf laterale Richtwirkung

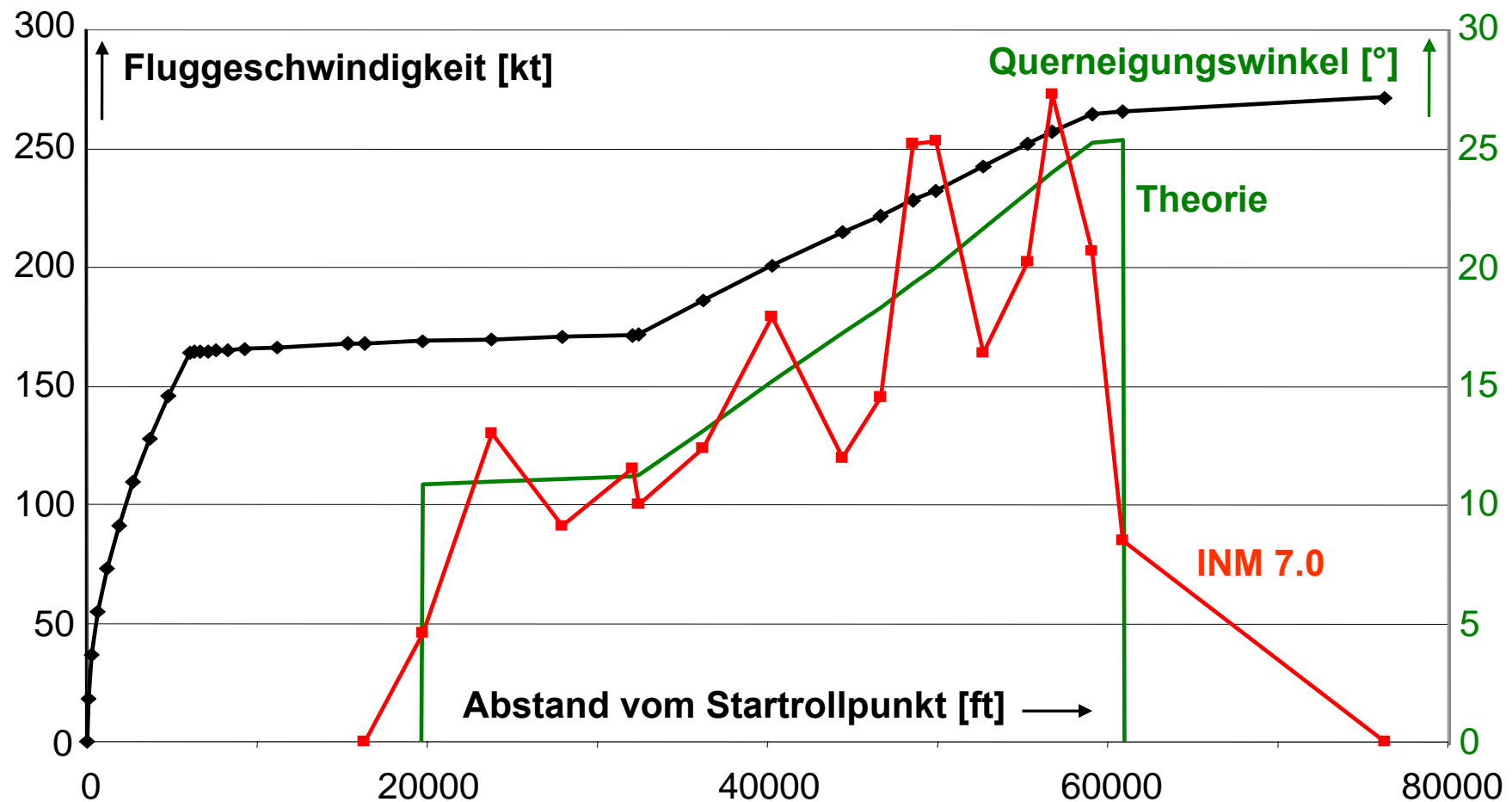
Beispiel: Abflug A320, 180°-Kehre, ohne Flugkorridor





# Ein Bug im INM 7.0 ???

Beispiel: Abflug A320, 180°-Kehre, ohne Flugkorridor  
Geschwindigkeitsverlauf aus Flugbahnprotokoll

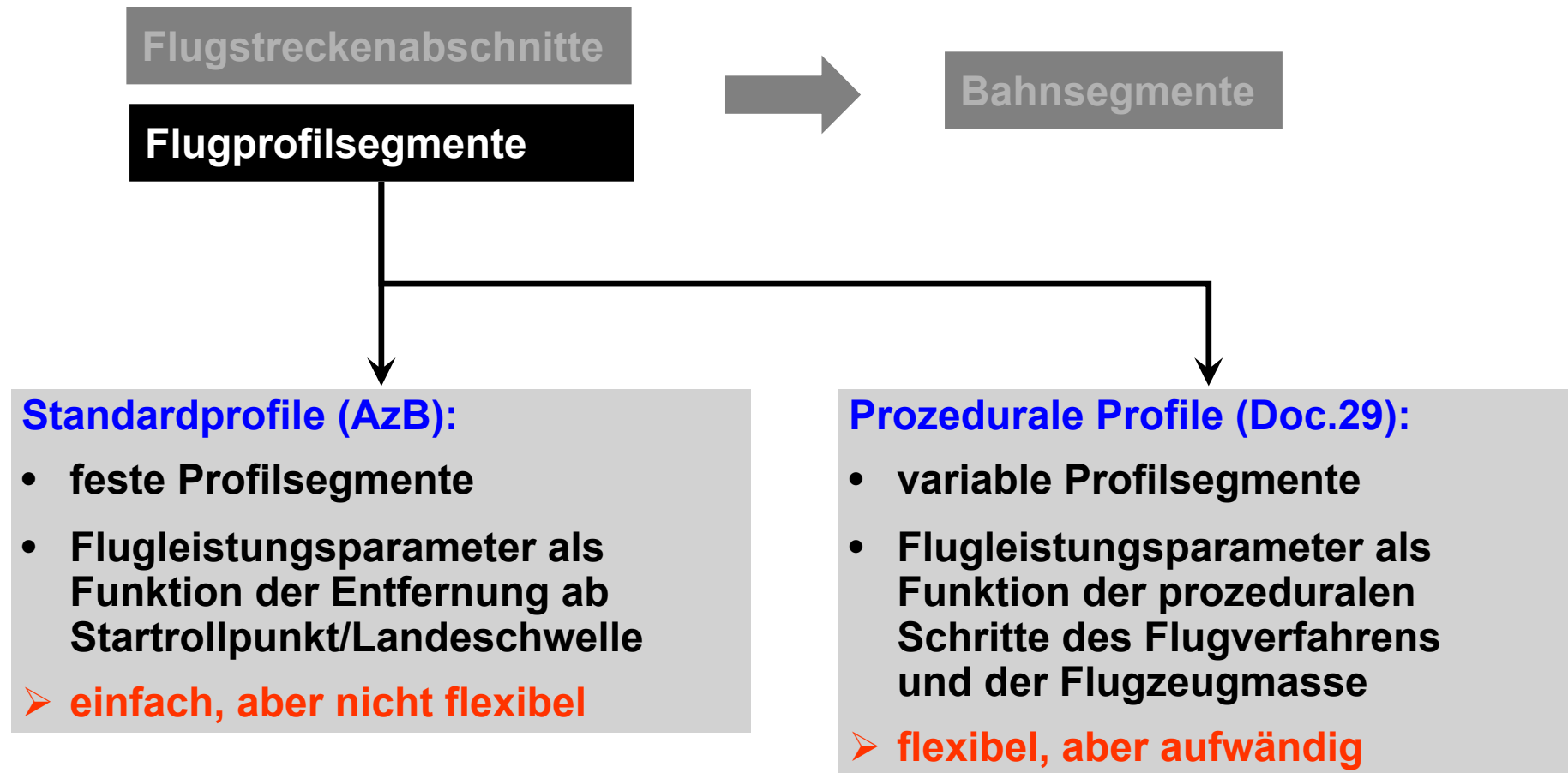


### Flugzeuggruppen und Flugprofile

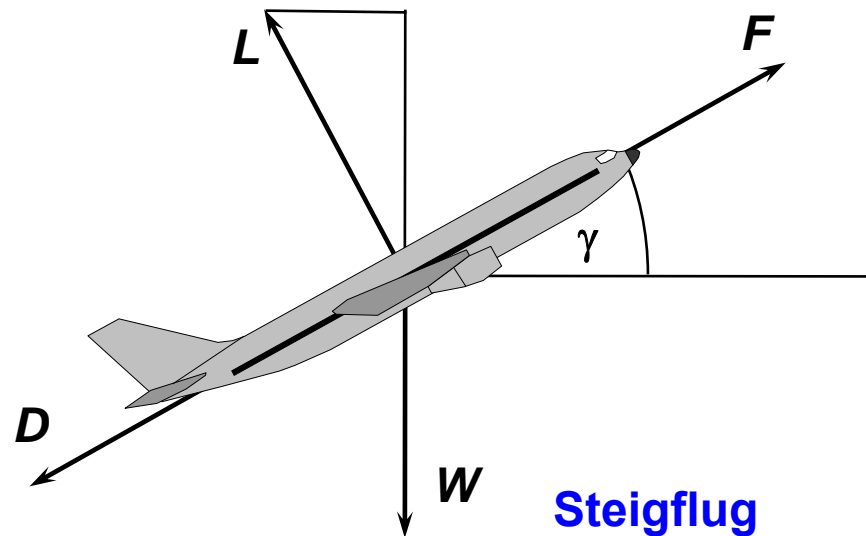
- AzB:**
- begrenzte Anzahl von Flugzeuggruppen
  - eindeutige Regeln für Zuordnung zu Gruppen
  - fest definierte Flugprofile
  - Prinzip der „akustischen Äquivalenz“

- Doc.29:**
- Vielzahl von einzelnen Typen
  - prozedurale Profile
  - Substitutionsregeln für nicht definierte Typen

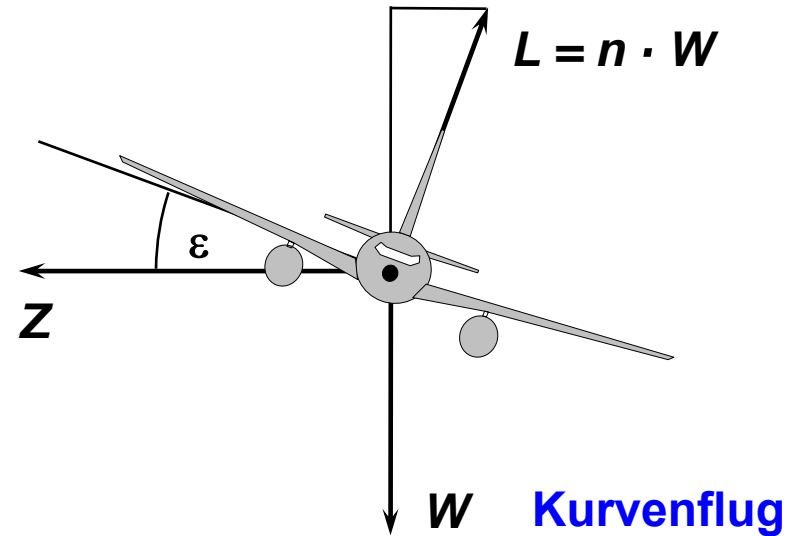
# Die Flugbahnberechnung



# Prozedurale Profile: Massenpunktmodell



**L** : Auftrieb  
**W** : Gewicht  
**D** : Widerstand  
**F** : Schub  
 $\gamma$  : Steigwinkel

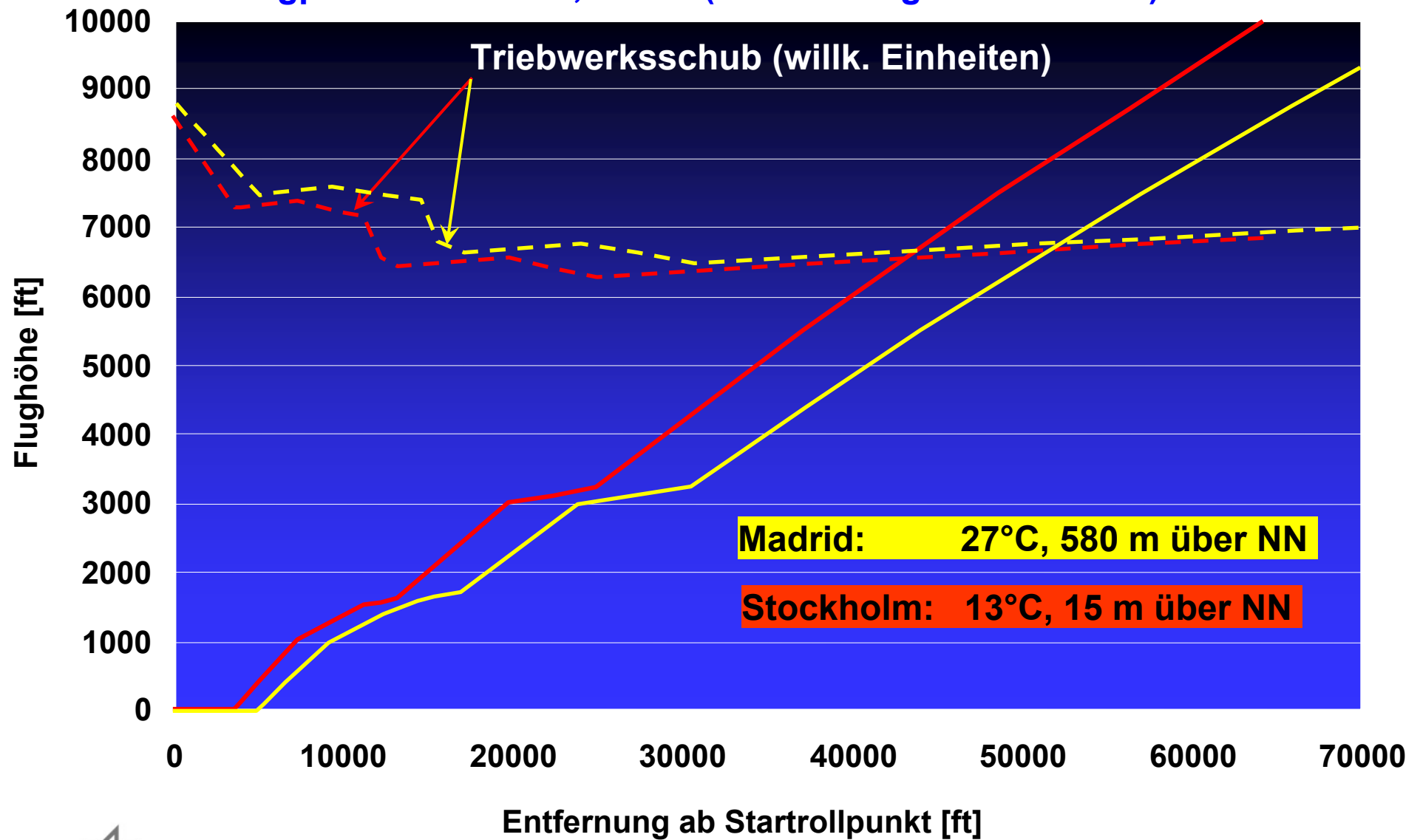


**Z** : Zentrifugalkraft  
**n** : Lastvielfaches  
 $\varepsilon$  : Querneigungswinkel

Auftrieb und Widerstand werden aus den Beiwerten  $c_L$  und  $c_D$  ermittelt.

# Beispiel für prozedurale Flugprofile

Abflugprofile B737-400, 48.5 t (Berechnung nach INM 6.1)



# Kriterien zur AzB-Gruppenbildung

## Akustische Äquivalenz

„Zwei Flugzeugmuster sind akustisch äquivalent, wenn sie im maßgeblichen Bereich der Flugbahn vergleichbare Footprints im Maximal- und auch im Einzelereignispegel erzeugen.“

⇒ Sie können der gleichen Flugzeuggruppe zugeordnet werden.

## Lärmsignifikanz

„Ein lärmsignifikantes Flugzeugmuster bestimmt die Lärmsituation an einem Flughafen deutlich mit (d.h. deutliche Änderungen in der Bewegungszahl führen zu deutlich geänderten Immissionswerten).“

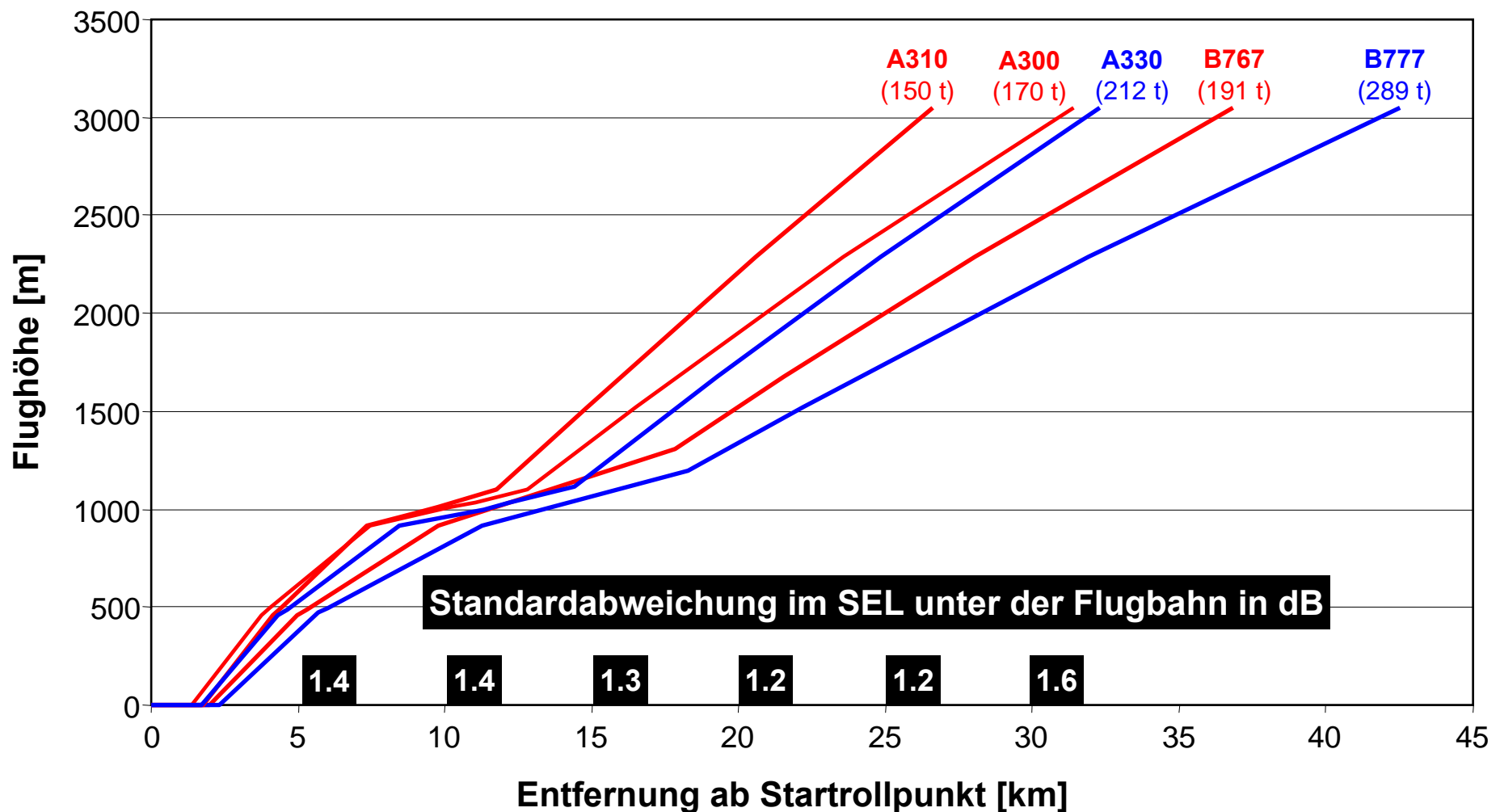
⇒ Es muss möglichst genau modelliert werden.

⇒ Es muss eine separate Gruppe bilden, falls keine akustischen Äquivalenzen bestehen.

⇒ Nicht-lärmsignifikante Flugzeugmuster können auch ohne akustische Äquivalenz gruppiert werden (Substitution in Doc.29).

# Beispiel zur akustischen Äquivalenz: AzB-Gruppe S6.1

## Abflugprofile für ICAO-A-Verfahren (Berechnung mit INM 6.2)

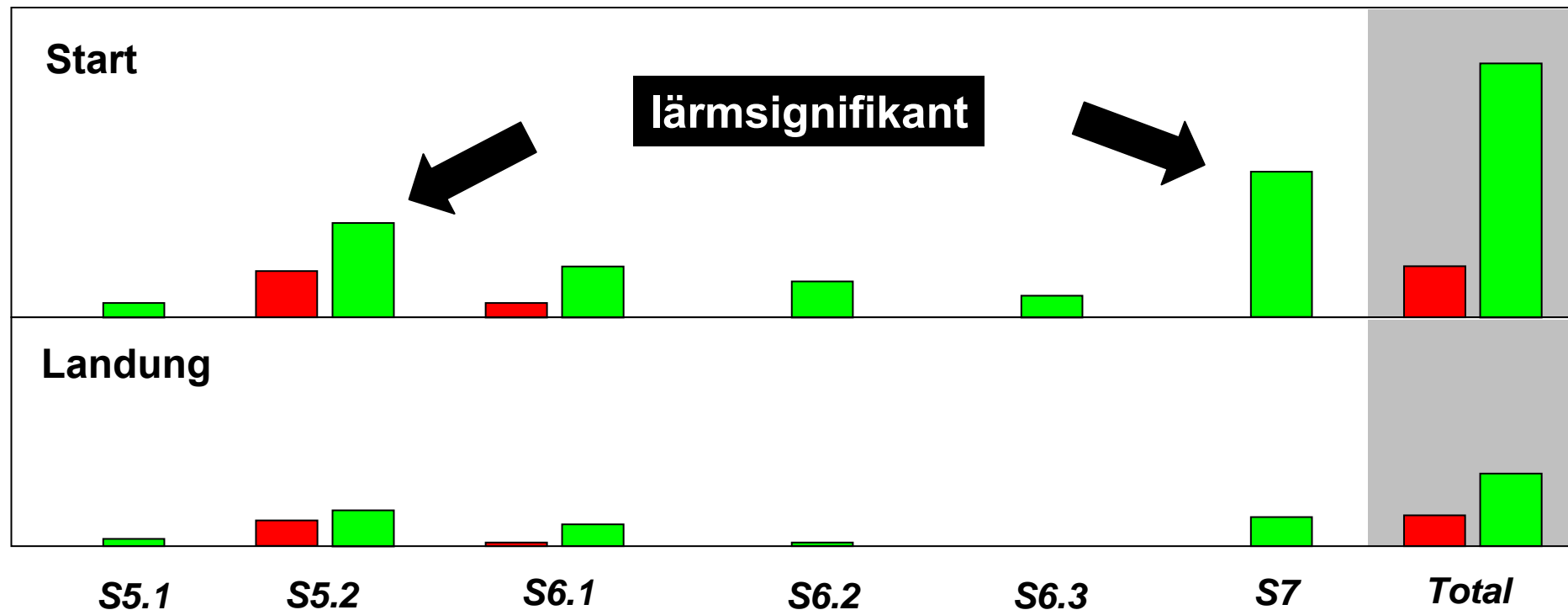


# Beispiel zur Lärmsignifikanz

## Modellrechnung: Lärmbelastete Flächen an generischen Flughäfen

 200.000 Bewegungen/Jahr, wenig Langstreckenverkehr

 500.000 Bewegungen/Jahr, viel Langstreckenverkehr





## Fazit des Vergleichs von AzB-2008 und Doc.29 3<sup>rd</sup> Edition

- Beide Verfahren benutzen einen Segmentierungsalgorithmus, wobei derjenige der AzB zusätzlich immissionsbezogen erfolgt.
- Aus akustischer Sicht ist der AzB-Formalismus detaillierter ausgeführt (spektrale Rechnung, gruppenbezogene Richtcharakteristik) und auch wesentlich flexibler bezüglich einer Weiterentwicklung.
- Hinsichtlich der Flugbahnmodellierung ist Doc.29 flexibler.
- Die Struktur der AzB ist auf Prognosen ausgelegt (Gruppierung). Doc.29 bietet weitergehende Möglichkeiten, insbesondere bei vergleichenden Studien (Umschichtungsszenarien, (Ab)flugverfahren).
- Die AzB deckt zusätzlich militärische und allgemeine Luftfahrt sowie Helikopter und Bodenoperationen ab.

**Beide Verfahren sind aber prinzipiell leicht erweiterbar (AzB hinsichtlich der flugmechanischen Aspekte, Doc.29 auf andere Anwendungsbereiche).**